



BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Offenlegungsschrift
DE 101 04 648 A 1

Int. Cl. 7:
H 01 F 17/04
H 01 F 19/04

(21) Aktenzeichen: 101 04 648.0
(22) Anmeldetag: 2. 2. 2001
(43) Offenlegungstag: 31. 1. 2002

✓ nachveröffentlicht

DE 101 04 648 A 1

(66) Innere Priorität:
100 34 413. 5 14. 07. 2000 ✓
(71) Anmelder:
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 76133
Karlsruhe, DE

(72) Erfinder:
Weth, Axel von der, Dr., 76149 Karlsruhe, DE;
Seemann, Klaus, Dr., 76448 Durmersheim, DE;
Fergen, Immanuel, 76131 Karlsruhe, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) I-Induktor als Hochfrequenz-Mikroinduktor

(57) Ein I-Induktor für die Hochfrequenz- bzw. Mikrowellentechnik besteht aus zwei gleichartigen Kernen, die unter Spaltbildung bezüglich ihrer Längsachsen parallel zueinander liegen. Auf jedem Kern sitzt eine solenoidale Spulenwicklung, derart, daß, HF-stromdurchflossen, ein magnetischer Kreis durch die beiden Kerne über den Spalt am jeweiligen Endbereich der Anordnung zustande kommt. Die magnetfeldbildenden Wicklungen sind gleichartig. Es kann als Kernmaterial grundsätzlich magnetisch isotropes Material verwendet werden; technisch brauchbar einsetzbar kann der mikrowellentechnische Effekt aber auch nur mit magnetisch anisotropem Material hervorgekehrt werden. Die magnetische Vorzugsrichtung verläuft in Richtung der Längsachse des jeweiligen Kerns.

→ 2e954 - axis

DE 101 04 648 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen I-Induktor, der ein passives magnetisches Bauteil, eine Drossel darstellt.

[0002] Der Induktor ist unter Verwendung eines isotropen magnetisch permeablen Materials als makroskopisches Bauteil aus der Transformatortechnik bekannt. Weiter ist er als HF-Mikroinduktor für die Mikrosystemtechnik oder integrierte Schaltungstechnik in on-die-Bauweise (on die = auf einem Chip oder einem Substrat sitzend) bekannt, bei der für die felddurchfluteten Körper/Kerne Materialien mit einer einachsigen, uniaxialen, Anisotropie verwendet werden, um auch bei hohen Frequenzen wirksam zu sein.

[0003] Durch die Formgebung der magnetisch durchflossenen Teile wird eine Reduktion der aus dem Bauteil austretenden Felder erreicht, welche die Bildung von Abschirmströmen in Trägereinrichtungen für das Bauteil oder elektromagnetische Störungen in benachbarten Baugruppen stark vermindert. Die Anordnung eines I-Induktors ist vergleichsweise kompakt, dadurch können parasitäre Kapazitäten klein gehalten werden. Durch geschickte Konditionierung und Ausnutzung der Oberfläche können widerstandsverringende Leiteranordnungen verwendet werden, die eine Steigerung der Güte ermöglichen.

[0004] Ringkern-drossel oder toroidale Mikroinductoren sind von ihrem Aufbau und ihrer Wirkungsweise her ähnlich. Dieser kann aber sinnvollerweise nur mit isotropen Materialien aufgebaut werden. Magnetische Materialien mit einachsiger, im technischen Sprachgebrauch uniaxialer, Anisotropie können nicht verwendet werden. Nach derzeitigem Stand der Materialentwicklung sind isotrope magnetische Materialien für den Frequenzbereich oberhalb 1 GHz nicht mehr geeignet [I].

[0005] In die Baugruppe fallen auch Solenoide oder Zylinderspulen. Bekannt sind da verschiedene Ausführungen: In der Mikrosystemtechnik wird das Solenoid bereits als Planarspule – Spulenachse steht senkrecht auf dem Substrat – verwendet. Für hohe Frequenzen sind diese nur eingeschränkt geeignet, da Abschirmströme im Substrat, welche die Induktivität verringern, angeregt werden. Diese Bauteile haben im hochfrequenztechnischen Einsatz eine geringe Güte.

[0006] Da die Anordnung insbesondere bei Benutzung von hohen Frequenzen wenig effizient ist, wächst die Größe des Bauteils an, was eine Erhöhung der parasitären Kapazitäten mit sich bringt. Durch Verwendung von zusätzlichen magnetischen Schichten an der Stirnflächen der Planarspule kann zwar die Induktivität gesteigert werden, aber die Grenzfrequenz der Spule sinkt dann. Eine Steigerung der Güte durch Verwendung von breiteren Leiterelementen bei einer Planarspule ist wegen des Anwachsens der dann benötigten Fläche nur in einem kleinen Bereich möglich [II]. Oberhalb von 0,1 GHz ist dieser Aufbau wegen zu stark in Vordergrund tretenden Kapazitäts- und Wirbelstromproblemen uninteressant und funktioniert nur mit magnetisch isotropen Materialien.

[0007] Eine weitere Gruppe sind Solenoide, deren Spulenachse parallel zum Substrat steht. Auch diese sind für den hohen Frequenzbereich wegen der Anregung von Abschirmströmen im Substrat nur bedingt geeignet, da das Streufeld an den Stirnflächen austritt. Es kann jedoch zur Induktivitätssteigerung ein Kern aus einem Material mit magnetischer uniaxialer Anisotropie verwendet werden [III].

[0008] Weiter werden Streifenleiter als Induktoren verwendet. Ihre erreichbare Güte ist im genannten Frequenzbereich wegen der geringen Induktivität für technische Anwendung zu gering. Zur Steigerung der Güte kann der Leiter mit einem magnetischen Material umgeben werden. Diese

Lösung wird bereits als makroskopisches Bauteil mit isotropen magnetischen Materialien benutzt und in der Literatur als Mikroinductoranwendung diskutiert [IV]. Da hierbei beispielsweise die Formanisotropie dünner Schichten nicht berücksichtigt wird und die benutzten Voraussetzungen stark vereinfachend sind, ist die Anwendung in der Mikrosystemtechnik eher fraglich. Die Anordnung führt zu einer erheblichen Anregung von Abschirmströmen im Substrat, was die industrielle Hochfrequenz-Anwendung erschwert. Da mit erheblichen Streufelder zu rechnen ist, muß auch dies beim Design der umliegenden elektromagnetischen Baugruppen berücksichtigt werden.

[0009] Zusammenfassend ist zum bekannten einschlägigen Stand der Technik zu sagen:

15 Ringkern-drosseln, die aus Materialien mit magnetisch uniaxialer Anisotropie aufgebaut sind, sind unwirksam. Mit magnetisch isotropen Materialien aufgebaute, sind für den vorgesehenen Frequenzbereich nicht verwendbar.

[0010] Solenoide sind wegen der Streufelder, die Abschirmströme und damit Störungen in benachbarten Baugruppen hervorrufen, nicht geeignet.

[0011] Streifenleiter haben zu geringe Induktivität oder zu hohe parasitäre Kapazität.

[0012] All diese Unzulänglichkeiten führen zu der Aufgabe, die der Erfindung zugrunde liegt, nämlich ein wirtschaftlich und für die industrielle Fertigung geeignetes Konzept von Hochleistungsinduktoren bereitzustellen.

[0013] Die Aufgabe wird durch einen I-Induktor gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

30 [0014] Der I-Induktor besteht aus mindestens zwei in einer rechteckig begrenzenden Ebene unter Spaltbildung zueinander angeordneten, bandförmigen, mit ihrer jeweiligen Längsachse parallel zueinander liegenden, gleich langen und für den vorgesehenen magnetischen Fluß durch sie notwendig dicken Körpern/Kernen aus magnetisch permeablem Material. Diese Körper/Kerne sind mit mindestens einer Wicklung derart versehen sind, daß bei Bestromung der Wicklung das durch den Wickel im zugehörigen Körper/Kern erzeugte Magnetfeld durch das im zugehörigen Wickel der Wicklung im unmittelbar benachbarten Körper/Kern erzeugte Magnetfeld verstärkt und nicht abgeschwächt wird. Dadurch verläuft der magnetische Fluß vollständig oder quasi vollständig im magnetischen Material und tritt an den windungsfreien Spalten im Endbereich in den Nachbarkörper über.

45 [0015] Anspruch 2 beschreibt das Material der Körper/Kerne als magnetisch isotrop. Anders in Anspruch 3, wo es als unidirektional oder uniaxial magnetisch anisotrop spezifiziert ist.

50 [0016] Die geometrische Relation der beiden außen liegenden Körper/Kerne der Anordnung zu den dazwischen liegenden wird in Anspruch 4 zum Ausdruck gebracht. Die beiden äußeren sind gleich breit und die dazwischen liegenden mindestens genau so breit.

55 [0017] In den Ansprüchen 5 bis 8 sind zweckmäßige Windungstechniken und -formen beschrieben. So ist die jeweilige Wicklung aus je einem Solenoiden pro Körper/Kern in Anspruch 5. In Anspruch 6 bilden die Windungen einer Wicklung oder Wicklungen mit den Körpern/Kernen eine gewobene Struktur. Eine Windung oder die Windungen können aber auch aus einem Bandleiter bestehen, der an seinen beiden Enden je eine Anschlußfahne für den externen Anschluß bildet (Anspruch 7). In Anspruch 8 bestehen die Windungen der Wicklung aus bandförmig viereckigen Elementen, und zwar sind sie im Fall von:

– nur zwei nebeneinander liegenden Körper/Kernen gleichartig trapezförmig, wobei sich im Spalt zwischen

den beiden Körpern/Kernen zwei trapezförmige Elemente mit der kürzeren der beiden parallelen Trapezseiten und entlang der jeweils außen liegende Längskante der beiden Körper/Kerne mit der längeren der beiden parallelen Trapezseiten aneinander reihen und elektrisch kontaktieren;

– mehr als zwei nebeneinander liegenden Körper/Kernen die Elemente einer Windung an den beiden außen liegenden Körpern/Kernen gleichartig trapezförmig und an den innenliegenden Körpern/Kernen gleichartig rechteckig. Sie reihen sich aneinander und kontaktieren sich entlang der jeweils außen liegenden Kante der beiden außen liegenden Körper/Kerne mit der längeren der beiden parallelen Trapezseiten. Im jeweiligen Spalt zwischen den beiden äußeren Körpern/Kernen und dem unmittelbar benachbarten Kern an der jeweils kürzeren Seite der beiden, zueinander parallelen Trapezseiten eines Elements der Windung ein rechteckiges Element der Windung reihen sie sich mit seiner gleich langen Seite an und kontaktiert sich elektrisch. Im jeweiligen Spalt zwischen den innen liegenden Körpern/Kernen reihen sich aneinander und kontaktieren sich stets zwei rechteckige Elemente der Windung. Damit liegen die Windungen mit den Körpern/Kernen unter Einhaltung des minimal notwendigen Isolationsabstandes gewebeartig aneinander und an den beiden Enden einer Wicklung besteht je eine Anschlußfahne für den externen Anschluß.

[0018] Der I-Induktor ist daher für hohe Grenzfrequenzen bis zu 10 GHz mit ausreichender Güte $Q < 500$ geeignet. Zweckmäßigerweise liegt die HF-Permeabilität in der Richtung der Magnetfeldachse in den Kernen. Durch die Anordnung der Leitelemente und der Körper oder Schichten aus magnetischem Material werden die Abschirmströme ganz wesentlich reduziert. Da die Bauform sehr kompakt gehalten werden kann, ist die parasitäre Kapazität gering.

[0019] Der I-Induktor wird im folgenden anhand der Zeichnung mit den Fig. 1 bis 8 näher erläutert. Es zeigen:

[0020] Fig. 1 die Prinzipskizze des I-Induktors,

[0021] Fig. 2 die Bandwicklung für den I-Induktor,

[0022] Fig. 3a der Aufbau aus Doppeltrapezelementen bei zwei Kernen,

[0023] Fig. 3b der Aufbau aus Doppeltrapez- und Rechteckelementen bei mehr als zwei Kernen,

[0024] Fig. 4 der I-Induktor mit sekundärer Wicklungen als HF-Übertrager,

[0025] Fig. 5 der I-Induktor im Spalt eines C-Magneten,

[0026] Fig. 6 der Induktivitätsverlauf des I-Induktors gemäß Fig. 3a.

[0027] Der nun näher beschriebene I-Induktor ist ein HF-Mikroinduktor mit typischen Dimensionen wie sie in Fig. 3a angedeutet sind. Er ist eine Baukomponente für die Mikrosystemtechnik in Planartechnik und findet Verwendung in Einrichtungen für hohe Frequenzen bei 1–10 GHz. Er ist in Dünnschichttechnik hergestellt. Der I-Induktor ist, damit die für den Einsatz notwendige Physik, also die geplante mikrowellentechnische Eigenschaft, hervorgehoben besteht, in seiner Baulänge begrenzt, und zwar gilt als obere Schranke für die Baulänge in x-Richtung (siehe Koordinatensystem in Fig. 1 und 5)

$$l_x < \alpha \frac{c}{f \sqrt{\mu_x}}, \text{ mit } \alpha < \frac{1}{4}.$$

α ist ein reiner Zahlenfaktor; für die technische Anwendung hat sich 0,1 als optimal herausgestellt. c ist die Lichtge-

windigkeit, f die Frequenz und μ_x die relative magnetische Permeabilitätskonstante in x-Richtung.

[0028] Zunächst soll das Prinzip anhand der Fig. 1 vorgestellt werden: Der I-Induktor besteht aus zwei parallelen, zweckmäßigerweise rechteckigen Körpern – im magnetischen Sprachgebrauch auch: Kernen – aus einem magnetisch permeablen Material. Auf jedem Eisenkern ist ein Solenoid gewickelt. Beide Solenoide können elektrisch unterschiedlich verschaltet sein, einmal jeweils separat angeschlossen, zum andern in Reihe oder parallel, aber auf jeden Fall so, daß das Magnetfeld im einen Kern die entgegengesetzte Richtung wie die im andern hat. Damit besteht bei Bestromung beider Solenoide ein magnetischer Kreis, und zwar durch die beiden Kerne und über die beiden Spalte an den beiden Endbereichen der Anordnung, der magnetische Fluß schließt also über die beiden Spalte. Der Spalt kann mit demselben magnetischen Material gefüllt sein. Bei Verwendung magnetisch anisotroper Materialien vorzugsweise mit einer Anisotropie, die von einem Kern in Richtung des andern die Vorzugsrichtung hat. Der Spalt sollte für den hochfrequenztechnischen Einsatz so klein wie möglich sein, zumindest so klein, daß für den Betrieb noch hinreichende elektrische Isolationsfestigkeit besteht. Die Baugröße der gesamten Anordnung ist auch durch parasitäre Kapazitäten begrenzt.

[0029] Die beiden Solenoide sind in Fig. 2 aus einer Wicklung und damit nicht getrennt gewickelt. Für die optimale Güte des I-Induktors ist es günstig, den oberen und unteren Solenoiden ineinander zu integrieren. Die skizzierte Wickeltechnik zeigt, daß sich immer eine Windung des oberen Solenoiden an eine des unteren in Reihe anschließt liegt und umgekehrt, bis die ganze Wicklung fertig ist. Auch ist der jeweilige Wickelsinn derartig, daß sich die beiden erzeugten Magnetfelder im Kreis addieren und nicht subtrahieren bzw. aufheben. Es liegen hier also nicht zwei getrennte Solenoiden hintereinander. Dieser Aufbau läßt sich mit der Planartechnik oder Schichttechnik durch sukzessives Aufbauen der Lagen einfach herstellen. Allerdings müssen die jeweiligen Leiterverbindungen im Spalt und an den äußeren Längskanten nachträglich angebracht werden.

[0030] Herstellungstechnisch günstig – das auch in seinen hochfrequenztechnischen Eigenschaften – ist der Aufbau gemäß Fig. 3a. Die Wicklung, im Prinzip wie in Fig. 2, wird aus doppeltrapezförmigen Leitelementen aus Kupfer oder Aluminium durch Aneinanderreihen derselben aufgebaut. Die eine Hälfte der Doppeltrapezstruktur liegt auf der Rückseite des einen Körpers, die andere Hälfte wird durch den Spalt gezogen und auf dem anderen Körper aufgelegt. Daran schließt sich das nächste doppeltrapezförmige Leitelement in gleicher Manier an, bis der Doppelwickel auf den beiden Körpern oder Kernen fertig ist. Die beiden Wicklungen bestehen bei diesem speziellen Aufbau aus sechs Doppeltrapezelementen aus Aluminium. An beiden Enden wird dann für den elektrischen Anschluß je noch eine Anschlußfahne angebracht. Der Aufbau durch Parallelogrammelemente geht entsprechend. Beide Kerne sind aus einer Eisenlegierung, in der die magnetische Anisotropie durch den Herstellungsprozeß einstellbar ist.

[0031] Für den mehr als zweikernigen Aufbau genügt die Darstellung an der dreikernigen Anordnung gemäß Fig. 3b. Die Maße darin sind beispielhaft. Die trapezförmigen Leitelemente liegen nach wie vor an den beiden äußeren Körpern/Kernen, der dazwischen liegende Körper/Kern hat die rechteckigen Leiterstreifen anliegen, die beidseitig so breit wie die kleinere der beiden parallelen Trapezseiten sind und sich dort entlang auch anschließen. Im Gegensatz zu den beiden außen liegenden Körpern/Kernen, die über die Wickelbreite bis auf den Windungsabstand fast vollständig mit

den Leiterelementen belegt sind, ist die Belegung mit dieser Technik bei dem dazwischen liegenden Körper/Kern und damit bei dazwischen liegenden Körper/Kernen nur noch bis zur Hälfte der Fall. Die rechteckigen Leiterelemente reihen sich an einem dazwischen liegenden Körper/Kern entlang desselben abwechselnd hinten und vorne aneinander. Um bei mehr als zwei Körper/Kernen über die Wickelbreite hinweg eine höchstmögliche Abdeckung derselben durch den Leiter der Wicklung zu haben, muß jeder Körper/Kern mit einem Leiter für sich und nicht auch gleichzeitig mit einem oder den andern bewickelt werden.

[0032] Fig. 6 zeigt den Verlauf der Induktivität des I-Induktors in nH in Abhängigkeit der in x-Richtung vorhandenen Permeabilität μ_{rx} , dessen Wicklungen gemäß Fig. 3a aus Doppeltrapezelementen aufgebaut sind. Die Kern- oder hier Eisenschichten haben die Kontour von $320 \times 40 \times 2 (\mu_m)^3$. Die Permeabilität μ_{rx} in y-Richtung ist 1. Bei $\mu_{rx} = 1000$ wird bei diesem Aufbau eine Induktivität von 3 nH erreicht.

[0033] Bevor vollends ein konkreter Aufbau vorgestellt wird, soll anhand der Fig. 4 auch die Struktur eines Hochfrequenzübertragers oder Transformators auf der Basis des I-Induktorprinzips erklärt werden. Hauptsächlich Anwendungsgebiete dafür sind die Telekommunikation und dort in Baugruppen wie Sperrkreisen oder Handys. Aber auch in der Nachrichtentechnik, wie Satellitentechnik oder in der digitalen Netzwerktechnik zur Datenfernübertragung, DFÜ, findet diese Technologie Eingang, weil damit eine weitere Miniaturisierung gegeben ist.

[0034] Das Prinzip der antiparallelen magnetischen Anregung wird zum Bau eines Hochfrequenzübertragers verwendet und damit die galvanische Trennung von Stromkreisen erreicht, oder es wird zum Bau eines Mikrotransformators (Fig. 4) verwendet. Sowohl für einen I-Induktor (Fig. 1 bis 3) als auch für den auf diesem Prinzip beruhenden Hochfrequenzübertrager wird der Frequenzbereich durch das aufprägen einer Anisotropie erhöht. Im vorliegenden Fall wird dies durch ein externes, zum I-Induktor senkrechtes und statisches Magnetfeld erreicht, welches beispielsweise von einem planaren H- oder C-Magneten (Fig. 4) erzeugt wird. Der Kern des planaren H- oder C-Magneten besteht aus vereinfachenden fertigungstechnischen Gründen ebenfalls aus dem selben Material mit uniaxialer Anisotropie bestehen. Durch Variation dieses statischen Magnetfeldes wird die Grenzfrequenz des Bauteils mit steigender magnetischer Flußdichte erhöht, bzw. die Induktivität verringert. Aus einbautechnischen oder anschlusstechnischen Gründen dürfte der C-Magnet die bevorzugte Baukomponente sein, weniger der H-Magnet.

[0035] Fig. 5 zeigt die Draufsicht auf den im Luftspalt des C-Magneten eingebauten I-Induktors. Die Realisierung wird mit Planartechnik durchgeführt. Die angegebenen Dimensionen vermitteln einen Eindruck über das Miniaturisierungspotential. Der I-Induktor selber ist gemäß Fig. 2 aufgebaut und gewickelt. Er ist lediglich $60\text{--}70 \mu_m$ breit und hat einen Spalt zwischen den Kernen als auch zu dem jeweiligen Polen von etwa $4 \mu_m$. Der Freiraum im C-Innern hat etwa die Ausdehnung von $(250 \mu_m)^2$, entsprechend die Außenkontur von etwa $800 \mu_m$ oder 0,8 mm Länge.

[0036] Die statische Felderzeugung B_{stat} im C-Magneten ist äußerst effizient, da magnetisch uniaxiale anisotrope Materialien im statischen Fall in y-Richtung eine Permeabilität $\gg 1$ besitzen. Die magnetische Anisotropie im C-Material drückt sich die Permeabilität von $\mu_{statx} \approx 350$ und $\mu_{staty} \approx 1000$ aus, beim I-Induktor selber liegen die Verhältnisse folgendermaßen: $\mu_{HFx} \approx 350$ und $\mu_{Hfy} = 1$.

[0037] Die fünf Wicklungspakete auf dem C-Joch sind gleichstromdurchflossen und erzeugen daher ein konstantes oder statisches Magnetfeld, das das HF-Feld in den Kernen

des I-Induktors senkrecht durchsetzt und so die magnetische Anisotropie und damit die Grenzfrequenz erhöht. Für diese Anwendung können isotrope magnetische Materialien nicht verwendet werden.

Literatur

- [I] siehe "Ferromagnetismus" von Kneller, E., Seiten 642 und 643, "Snoek'sche Limit" (Seite 643), Springer Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1962;
- [II] Shinji Tanabe, Yasuhiro Shiraki, Kenji Itoh, Masahiro Yamaguchi, Ken-ichi Arai, FEM Analysis of Thin Film Inductors Used in GHz Frequency Bands IEEE Transactions on Magnetics., Vol 35, No.: 5, September 1999);
- [III] J. Driesen, W. Ruythooren, R. Belmans, J. De Boeck, J.-P. Celis, K. Hameyer, Electric And Magnetic FEM Modeling Strategies For Micro-Inductors, IEEE Transactions on Magnetics., Vol 35, No.: 5, September 1999);
- [IV] A. Gromov, V. Korenivskim, K. V. Rao R. B. von Dover, P. M. Mankiewicz, A Model for Impedance of Planar RF Inductors Based on Magnetic Films, IEEE Transactions on Magnetics 1998).

Patentansprüche

1. I-Induktor als Hochfrequenz-Mikroinduktor, kurz HF-Induktor, für die Mikrosystemtechnik, bestehend aus mindestens zwei in einer rechteckig begrenzenden Ebene unter Spaltbildung zueinander angeordneten, bandförmigen, mit ihrer jeweiligen Längsachse parallel zueinander liegenden, gleich langen und für den vorgesehenen magnetischen Fluß durch sie notwendig dicken Körpern/Kernen aus magnetisch permeablem Material, die mit mindestens einer Wicklung derart versehen sind, daß bei Bestromung der Wicklung das durch den Wickel im zugehörigen Körper/Kern erzeugte Magnetfeld durch das im zugehörigen Wickel der Wicklung im unmittelbar benachbarten Körper/Kern erzeugte Magnetfeld verstärkt und nicht abgeschwächt wird, wozu der magnetische Fluß vollständig oder quasi vollständig im magnetischen Material der Körper/Kerne verläuft.
2. I-Induktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der Körper/Kerne magnetisch isotrop ist.
3. I-Induktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der Körper/Kerne unidirektional oder uniaxial magnetisch anisotrop ist.
4. I-Induktor nach den Ansprüchen 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden außen liegenden Körper/Kerne der Anordnung gleich breit und die dazwischen liegenden Körper/Kerne mindestens genau so breit sind.
5. I-Induktor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweilige Wicklung aus je einem Solenoiden pro Körper/Kern besteht.
6. I-Induktor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Windungen einer Wicklung mit den Körpern/Kernen eine gewobene Struktur bilden.
7. I-Induktor nach den Ansprüchen 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Windungen der Wicklung aus einem Bandleiter bestehen, der an seinen beiden Enden je eine Anschlußfahne für den externen Anschluß bildet.
8. I-Induktor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Elemente einer Windung der Wicklung aus bandförmig viereckigen Elementen besteht, die im Falle von nur zwei nebeneinander liegenden

Körper/Kernen gleichartig trapezförmig sind,
sich im Spalt zwischen den beiden Körpern/Kernen
zwei trapezförmige Elemente mit der kürzeren der bei-
den parallelen Trapezseiten und entlang der jeweils au-
ßen liegende Längskante der beiden Körper/Kerne mit
der längeren der beiden parallelen Trapezseiten anein- 5
ander reihen und elektrisch kontaktieren,
im Falle von mehr als zwei nebeneinander liegenden
Körpern/Kernen die Elemente einer Windung an den
beiden außen liegenden Körpern/Kernen gleichartig 10
trapezförmig und an den innenliegenden Körpern/Ker-
nen gleichartig rechteckig sind,
sich die trapezförmigen Elemente der Windung entlang
der jeweils außen liegenden Kante der beiden außen
liegenden Körper/Kerne mit der längeren der beiden 15
parallelen Trapezseiten aneinander reihen und elek-
trisch kontaktieren, sich im jeweiligen Spalt zwischen
den beiden äußeren Körpern/Kernen und dem unmittel-
bar benachbarten Kern an der jeweils kürzeren Seite
der beiden, zueinander parallelen Trapezseiten eines 20
Elements der Windung ein rechteckiges Element der
Windung mit seiner gleich langen Seite anreicht und
elektrisch kontaktiert,
und sich im jeweiligen Spalt zwischen den innen lie-
genden Körpern/Kernen stets zwei rechteckige Ele- 25
mente der Windung aneinander reihen und elektrisch
kontaktieren, so dass
die Windungen mit den Körpern/Kernen unter Einhal-
tung des minimal notwendigen Isolationsabstandes ge-
webeartig aneinander liegen und 30
an den beiden Enden einer Wicklung je eine Anschluß-
fahne für den externen Anschluß besteht.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

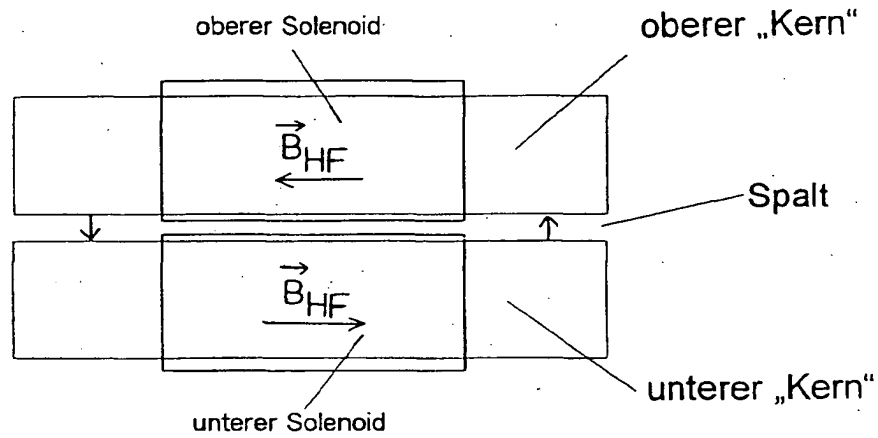


Fig. 2

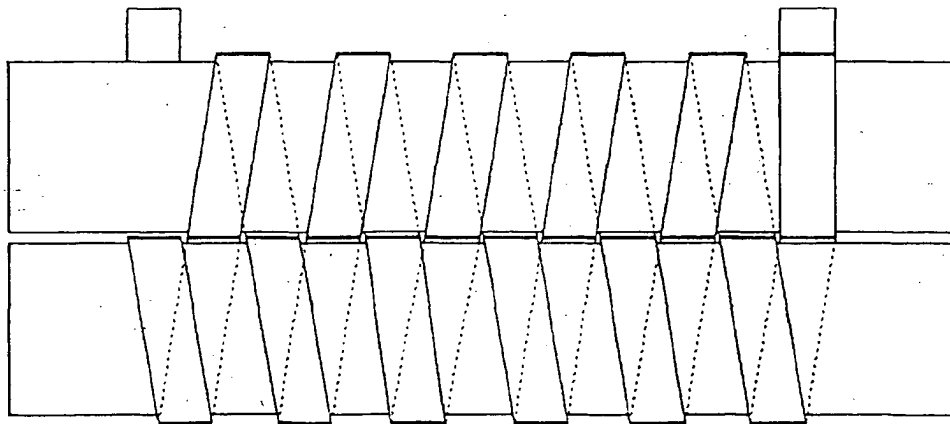


Fig. 3a

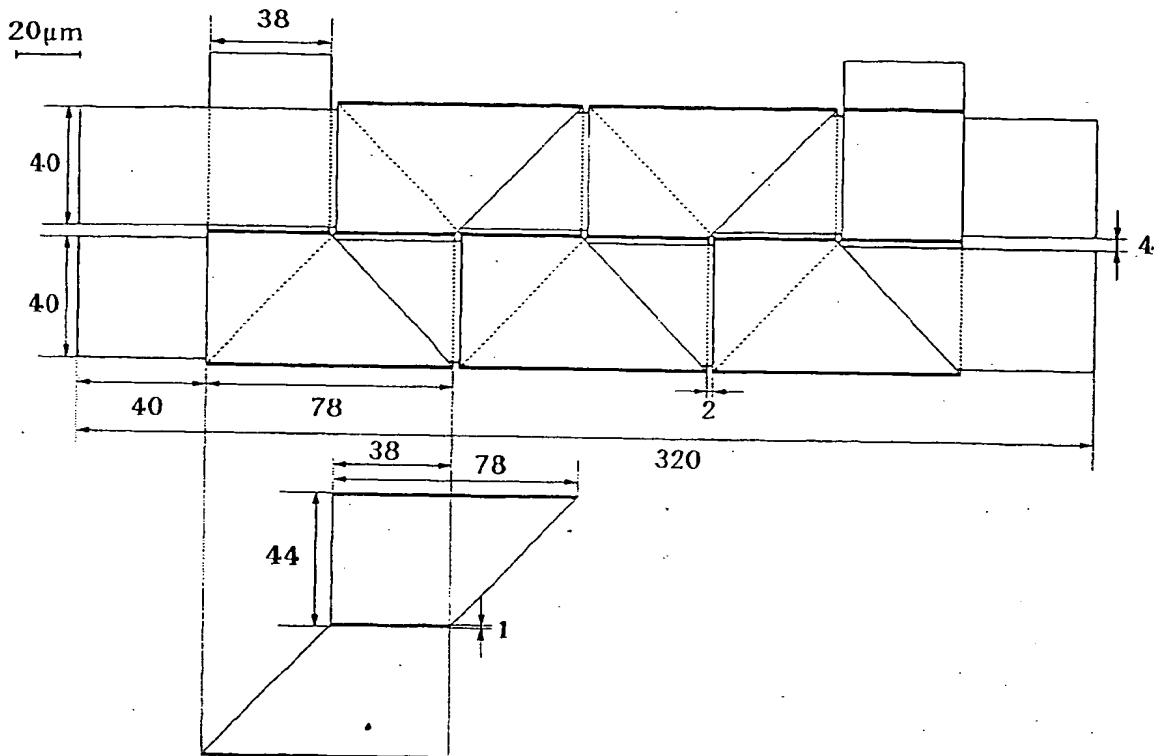


Fig. 3b

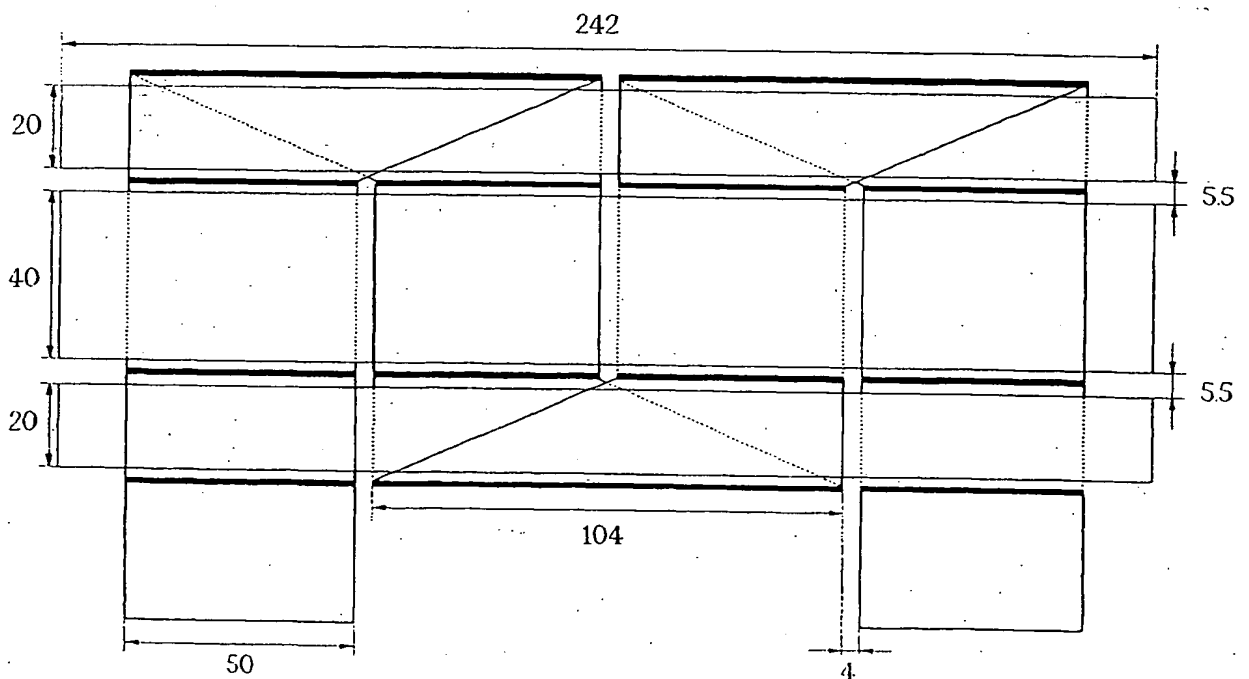


Fig. 4

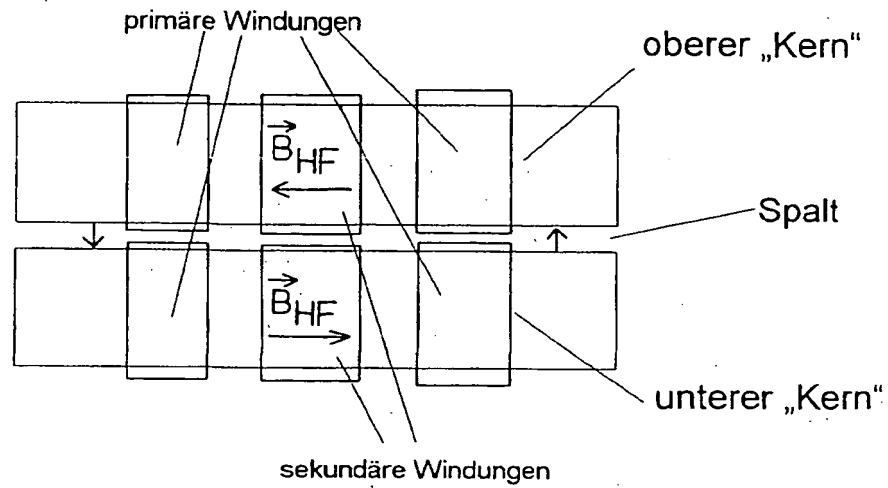
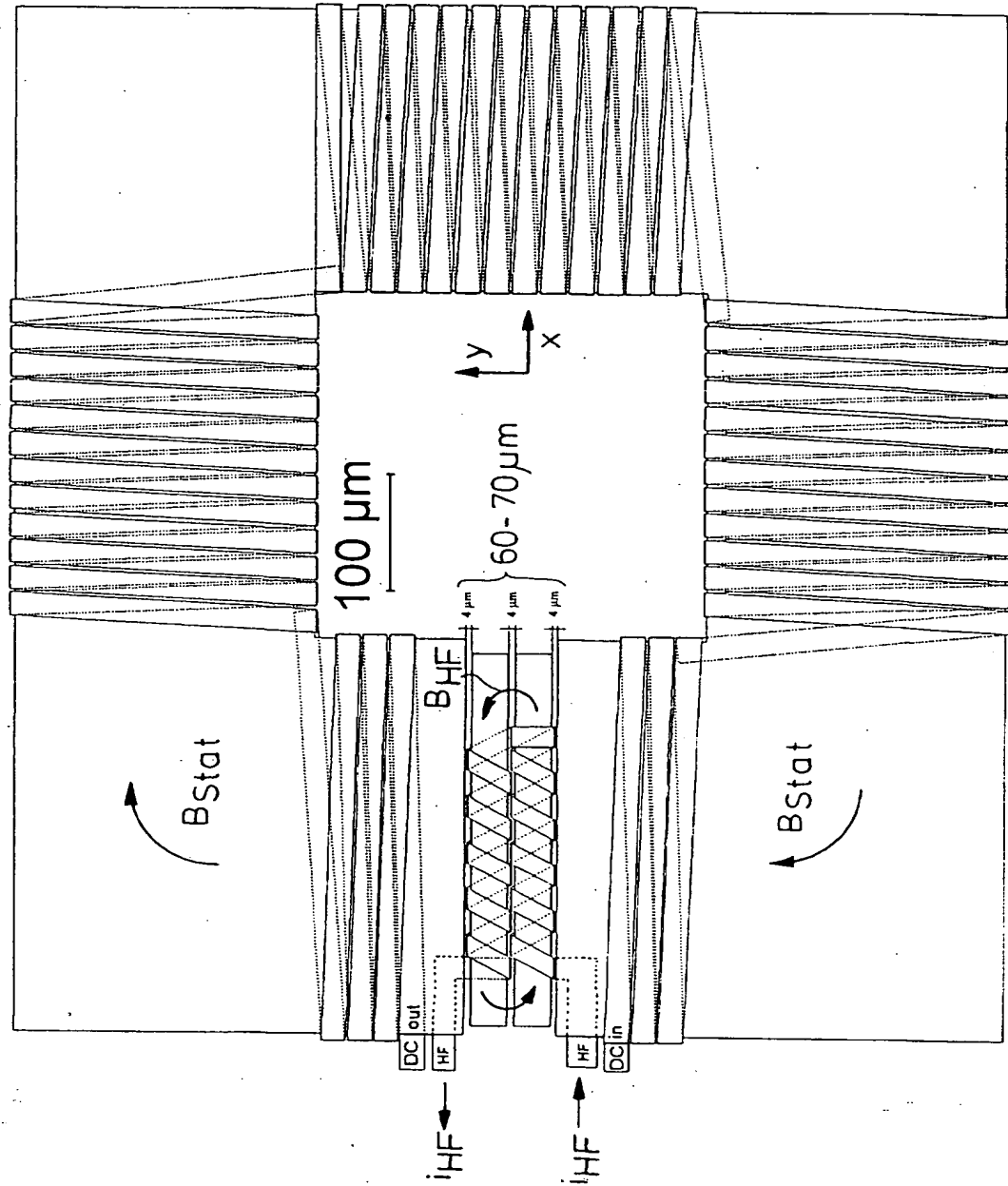


Fig. 5



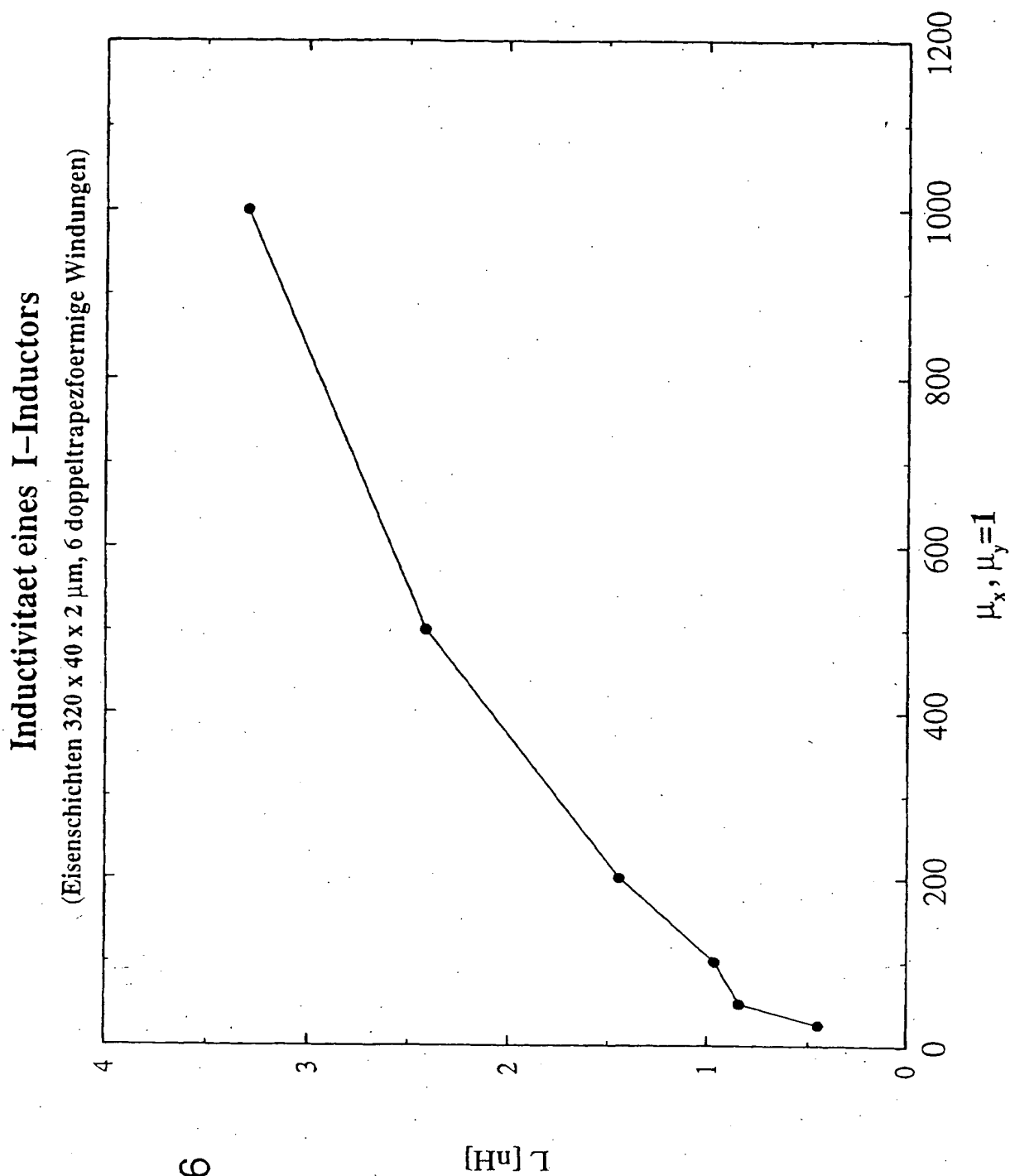


Fig. 6